

С.Ю. ГОРОХОВСКИЙ^{1,2}, А.А. ЛЫЗИКОВ¹,
М.Л. КАПЛАН¹, В.Е. ТИХМАНОВИЧ¹



НЕОБХОДИМОСТЬ И ВАРИАНТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМА ОПЕРАТИВНОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА ПРИ ОККЛЮЗИРУЮЩИХ ПОРАЖЕНИЯХ АРТЕРИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Гомельский государственный медицинский университет¹,
Гомельский областной клинический кардиологический центр², г. Гомель,
Республика Беларусь

Цель. Проанализировать и оценить эффективность различных стратегий реваскуляризации у пациентов с многоуровневым поражением периферических артерий на основании использования ангиографических и функциональных критериев.

Материал и методы. В исследование включено 114 пациентов с многоуровневым атеросклеротическим поражением артерий нижних конечностей. Первую группу (n=60) составили пациенты, вмешательство которым проводилось на основании ангиографических критериев, во вторую группу (n=40) включены пациенты, вмешательство которым проводилось под инвазивным интраоперационным гемодинамическим контролем состояния периферической циркуляции в дополнение к ангиографическому исследованию, у пациентов третьей группы (n=14) контроль эффективности и принятие решения об объеме вмешательства осуществлялись на основании ангиографических данных с определением периферического фракционного резерва кровотока (пФРК). Результат операции оценивался на основании определения лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ), для сравнительной оценки объема вмешательства введен коэффициент реваскуляризации (отношение числа корректированных сегментов к числу пораженных).

Результаты. Во всех группах выполненное лечение привело к статистически значимым ($p < 0,05$) изменениям ЛПИ, что свидетельствует о результативности вмешательства. Значения ЛПИ после оперативного вмешательства в исследуемых группах составили 0,8 (0,75; 0,8), 0,9 (0,8; 1) и 0,9 (0,9; 1) соответственно, что сопряжено с удовлетворительным клиническим результатом лечения и прогнозом заболевания. Указанные результаты вмешательств были достигнуты при наличии статистически значимой разницы между группами в длине сегментов, подвергнутых ангиопластике (мм), – 170 (120; 200), 100 (80; 120) и 130 (115; 155), $p = 0,00007$, длине стентированных сегментов (мм) – 100 (60; 145), 60 (40; 100), 40 (30; 40), $p = 0,00063$, и коэффициенте реваскуляризации – 1 (0,67; 1), 0,5 (0,5; 0,66) и 0,5 (0,5; 0,575), $p < 0,0001$.

Заключение. Методы функциональной оценки периферической циркуляции в дополнение к ангиографическим критериям позволяют уменьшить объем вмешательства с получением оптимального клинического результата.

Ключевые слова: хроническая артериальная недостаточность, многоуровневое поражение, реваскуляризация, ангиография, гемодинамический мониторинг

Objectives. To analyze and assess the efficiency of different strategies of the endovascular revascularization in patients with multilevel affection of lower extremity peripheral arteries based on angiographic and functional criteria.

Methods. The patients (n=114) with chronic multilevel of chronic lower extremity peripheral arteries were included in the study. The first group (n=60) comprised patients who underwent revascularization based on the angiographic criteria; the second one (n=40) included patients in whom the surgery was performed under both angiographic control and invasive intraoperative hemodynamic monitoring of the peripheral circulation; patients of the third group (n=14) were operated on the basis of peripheral fraction blood flow reserve (pFFR) determination in addition to the conventional angiography. Surgery results were assessed depending on value of ankle-brachial index (ABI); to compare the volume of intervention the estimated coefficient of revascularization was expressed as the ratio of the number of the treated segments to the number of affected ones.

Results. In all groups, the performed treatment resulted in the statistically significant ($p < 0,05$) changes of ABI which was the evidence of therapy effectiveness. In the study groups ABI values after the operation amounted 0,8 (0,75; 0,8), 0,9 (0,8; 1) and 0,9 (0,9; 1), respectively, which is associated with a satisfactory result of treatment and prognosis of the disease. The given results were achieved in the presence of the statistically significant difference between groups in length of segments underwent angioplasty (mm) – 170 (120; 200), 100 (80; 120) and 130 (115; 155), $p = 0,00007$, stented segment length (mm) – 100 (60; 145), 60 (40; 100), 40 (30; 40), $p = 0,00063$ and revascularization coefficient: 1 (0,67; 1), 0,5 (0,5; 0,66) and 0,5 (0,5; 0,575), $p < 0,0001$.

Conclusion. Methods of invasive functional assessment of the peripheral circulation in addition to the angiographic criteria allow reducing the volume of intervention with an optimal clinical result.

Keywords: chronic lower extremity ischemia, multilevel lesion, revascularization, angiography, hemodynamical monitoring

Novosti Khirurgii. 2020 Jul-Aug; Vol 28 (5): 505-514

The articles published under CC BY NC-ND license

Expediency and Options for Functional Control in Determining the Extent of Surgery for Occlusive Lesions of the Lower Extremity Arteries

S.Y. Gorokhovskiy, A.A. Lyzikov, M.L. Kaplan, V.E. Tihmanovich



Научная новизна статьи

Впервые изучено влияние инвазивной функциональной оценки периферической циркуляции на объем реваскуляризации при стенозирующих многоуровневых поражениях артерий нижних конечностей. Установлено, что использование функциональной оценки периферической циркуляции способствовало уменьшению объема вмешательства при сохранении оптимального клинического результата.

What this paper adds

For the first time the impact of the invasive functional assessment of the peripheral circulation on the extent of revascularization in patients with multilevel arterial occlusive disease extremities has been studied. It was found that the use of functional assessment of peripheral circulation contributed to a diminishment of the extent of intervention while maintaining the optimal clinical result.

Введение

Ангиография является одним из основных методов диагностики хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей (ХОЗАНК) и базисом для принятия решения о возможности и модальности хирургической реконструкции. Самыми существенными ограничениями этого метода визуализации являются неоднозначная оценка значимости поражения сосудистой системы, неточность при интерпретации результатов при пограничных поражениях. Измерение процента стеноза (% уменьшения диаметра по отношению к неизменному сегменту сосуда) подразумевает возможность ошибочной оценки при ряде факторов, таких как диффузное, множественное поражение, когда отсутствует нормальный сегмент для корректного сравнения, проекционные искажения, наложения, ангиуляция, кальциноз, эксцентричность, дефекты контрастирования и т.д., что в итоге приводит к выполнению ненужных процедур реваскуляризации [1]. В то же время ангиографические характеристики поражения не всегда отражают функциональные нарушения в связи с индивидуальными особенностями компенсации кровотока.

В коронарном русле интерпретация значимости стеноза на основании визуальной оценки [2] недостаточно достоверно отражает функциональное значение поражения, приводя к ошибочной лечебной тактике, что побудило к развитию физиологических подходов для его оценки. Наряду с нагрузочными тестами со стандартизированными протоколами, широкое распространение получила инвазивная оценка коронарного резерва, выполняемая при коронарной катетеризации. Фундаментальный постулат определения фракционного резерва кровотока (ФРК) состоит в том, что при максимальной

вазодилатации взаимосвязь между коронарным перфузионным давлением и потоком пропорциональна и линейна, т.е. стеноз влияет на дистальное давление в артерии в той же степени, как и на кровоток [3]. В исследовании FAME 2 [4] показано, что у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий рутинное измерение ФРК во время процедуры чрескожной коронарной реваскуляризации (ЧКВ), в сравнении со стандартным ЧКВ, значительно уменьшает частоту достижения первичной комбинированной конечной точки (смерть, повторная реваскуляризация и инфаркт миокарда) в течение 5 лет, а также является независимым предиктором повторной реваскуляризации в целевом сосуде в течение 6 месяцев [5].

Таким образом, исследования FAME в кардиологии создали основу новой парадигмы, при которой фокус при визуализации коронарных артерий сместился с оценки анатомических характеристик в сторону определения влияния поражений на перфузию миокарда.

Вышеуказанные обширные диагностические возможности с достаточной доказательной базой для принятия решения о целесообразности реваскуляризации того или иного коронарного бассейна контрастируют с ограниченными ресурсами для функциональной оценки периферического сосудистого русла. В клинической практике неинвазивным исследованием, позволяющим объективизировать перемежающую хромоту с учетом периферического сосудистого резерва, является определение лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ) после нагрузки. Вместе с тем, данный тест имеет ряд ограничений: во-первых, отсутствует общепринятый нагрузочный протокол, что делает исследования малосопоставимыми; во-вторых, оценка невозможна в некомпенсируемых сосудах, и, наконец, у ряда пациентов проба с физической нагрузкой не-

выполнима из-за их физических возможностей.

В последние годы ряд исследователей сфокусировал внимание на возможности определения периферического ФРК (пФРК) при различных типах и уровнях атеросклеротического поражения артерий нижних конечностей. В исследованиях N. Murata et al. было показано, что пФРК оказался надежным критерием установления значимости пограничных и ангиографически малозначимых стенозов илиофemorального сегмента [6].

S. Banerjee et al. продемонстрировали связь трансстенотического градиента более 11 мм Hg в условиях индуцированной гиперемии с падением ЛПИ менее 0,7 на фоне нагрузки [7]. Z. Ruzsa et al. в своем исследовании установили, что прямые измерения отношения дистального и проксимального артериального давления (Pd/Pa), пФРК коррелировали ($r = 0,33-0,36$) с % ТсО₂ (чрескожным напряжением кислорода), % и площадью стеноза, пФРК со значением более 0,66 был предиктором выживаемости без больших негативных исходов, которые определялись как комбинированная конечная точка (смерть, повторная реваскуляризация целевого сосуда, или большая ампутация в течение госпитализации или до 12 месяцев наблюдения) [8]. Приведенные исследования показали потенциал прямых измерений дистального артериального давления в условиях максимальной гиперемии и без нее для оценки значимости поражения и корреляцию их результатов с традиционными неинвазивными показателями. Вместе с тем опыт клинического применения данных тестов является недостаточным, авторами использовались инструментарий, применяемый для оценки коронарного русла, что требует специального оснащения и дополнительных затрат.

Таким образом, указанные ограничения стандартных диагностических подходов диктуют необходимость в поиске простого и выполнимого метода, в дополнение к анатомическим инструментам оценки периферической циркуляции, на основании гемодинамических измерений в периферическом сосудистом русле, доступного в реально существующих условиях, который позволит принимать решение о целесообразности, объеме и модальности реконструкции, оценивать ее эффективность в условиях проведения открытой либо эндоваскулярной реконструкции.

Цель. Проанализировать и оценить эффективность различных стратегий реваскуляризации у пациентов с многоуровневым поражением периферических артерий на основании использования анатомических и функциональных критериев.

Материал и методы

Изучены результаты лечения пациентов, поступивших для хирургического лечения в отделение хирургии сосудов Гомельского областного клинического кардиологического центра в 2016–2020 гг., с многоуровневым поражением артерий нижних конечностей. При определении степени хронической артериальной недостаточности использовали классификацию Покровского-Fontaine (1986), всем пациентам выполнено дуплексное сканирование артерий ног с определением ЛПИ, мультиспиральная КТ-ангиография. Объем поражения, протяженность и предпочтительная методика реваскуляризации определялись с учетом действующих рекомендаций TASC II [9] и Европейской ассоциации кардиологов [10]. В ходе исследования были сформированы 3 группы (таблица 1). В первой группе вмешательства выполнялись по стандартной методике на основании ангиографических данных, во второй — под инвазивным интраоперационным гемодинамическим контролем состояния периферической циркуляции в дополнение к ангиографическому исследованию, у пациентов третьей группы контроль эффективности и принятие решения об объеме вмешательства осуществлялись на основании ангиографических данных с определением пФРК.

Группы не имели отличий по ИМТ ($p=0,13$), вторая и третья группы статистически не отличались от первой группы по половому признаку ($p=0,08$; $p=0,17$ соответственно), возрасту ($p=0,17$), наличию ХНМК ($p=0,648$; $p=0,5$), наличию нарушений функции почек ($p=0,8$; $p=0,72$), а также иным факторам риска заболевания: АГ ($p=0,31$; $p=1,0$), СД ($p=0,27$; $p=0,76$), курению ($p=0,09$; $p=0,37$). Пациенты второй группы чаще страдали ИБС, чем пациенты первой группы ($p=0,001$), таких различий не было между пациентами первой и третьей групп ($p=0,54$). Пациенты первой и второй групп не имели достоверных различий по клиническим вариантам течения заболевания: ПХ ($p=0,4$), КИНК ($p=0,22$), анатомическим характеристикам поражений ($p=0,38$), в отличие от пациентов третьей группы, куда не включались пациенты с КИНК, соответственно преобладали поражения класса А и В TASC II. Также поражения у пациентов трех групп не отличались по выраженности кальциноза ($p=0,41$; $p=0,11$).

Интраоперационный гемодинамический контроль производился при помощи инвазивного мониторинга артериального давления в одной из периферических артерий голени (задней или

Таблица 1

Характеристика пациентов групп исследования			
	Группа 1 (без гемодинамического контроля) (n=60)	Группа 2 (с гемодинамическим контролем) (n=40)	Группа 3 (с определением пФРК) (n=14)
Возраст, лет (Me (Q1; Q3))	62,5 (58; 67)	61 (58,8; 67)	59 (57; 61,5)
Мужчин (%)	38 (63,3)	32 (80)	12 (85,7)
Индекс массы тела (ИМТ), кг/м ² (Me (Q1; Q3))	27,35 (24,95; 30)	26,7 (23; 28,3)	27,6 (27; 29,75)
Артериальная гипертензия (АГ), %	45 (75)	34 (85)	11 (78,6)
Сахарный диабет (СД), %	21 (35)	9 (22,5)	4 (28,6)
Инсулин, %	13 (21,7)	4 (10)	1 (7,14)
Курение, %	33 (55)	29 (72,5)	10 (71,4)
Ишемическая болезнь сердца (ИБС), %	40 (66,7)	38 (95,0)	8 (57,14)
Хронические нарушения мозгового кровообращения (ХНМК), %	15 (25)	12 (30)	2 (14,3)
Нарушение функции почек, %	13 (21,7)	10 (25)	2 (14,3)
Пережающая хромота, %	60 (100)	40 (100)	14 (100)
Количество пораженных сегментов	2 (2; 2)	2 (2; 2)	2 (2; 2)
Критическая ишемия нижних конечностей (КИНК), %	37 (61,7)	19 (47,5)	0
ЛПИ до вмешательства (Me (Q1; Q3))	0,5 (0,4; 0,6)	0,5 (0,4; 0,6)	0,7 (0,6; 0,7)
Инвазивный ЛПИ (иЛПИ) до вмешательства (Me (Q1; Q3))	—	0,5 (0,38; 0,645)	0,7 (0,67; 0,79)
пФРК до вмешательства	—	—	0,53 (0,51; 0,58)
ХАН до операции (по Fontaine-Покровскому)			
2a (%)	2 (3,3)	0	0
2b (%)	21 (35)	21 (52,5)	14 (100)
3 (%)	27 (45)	11 (27,5)	0
4 (%)	10 (16,7)	8 (20)	0
Характеристика поражений	N=129 (TASC II= 79)	N=86 (TASC II= 61)	N=30 (TASC II= 21)
TASC II A (%)	16 (20,2)	12 (19,7)	7 (33,3)
TASC II B (%)	6 (7,6)	7 (11,5)	11 (52,3)
TASC II C (%)	17 (21,5)	19 (31,1)	3 (14,4)
TASC II D (%)	40 (50,7)	23 (37,7)	0

передней большеберцовой артерии) через артериальный катетер, установленный ретроградно пункционно по Сельдингеру под контролем ультразвукового исследования. Одновременный инвазивный контроль системного артериального давления (САД) на лучевой артерии позволял рассчитать отношение дистального систолического артериального давления в периферическом русле (ПАД) к систолическому системному, что соответствовало значению инвазивного ЛПИ и при оценке значимости стеноза нивелировало влияние системного АД на периферическую циркуляцию. Увеличение инвазивного ЛПИ на 0,1 и более либо, при наличии КИНК и исходном

ЛПИ менее 0,5, достижение послеоперационных значений более 0,5 расценивались как клинически значимые изменения и служили одним из критериев принятия решения об объеме и эффективности реваскуляризации.

При определении пФРК для индукции гиперемии выполнялась медикаментозная проба — интраартериальное введение 10 мг папаверина гидрохлорида [11] через проксимальный артериальный доступ (интродьюсер, установленный в бедренную артерию в ходе выполнения рентгенэндоваскулярных манипуляций, либо любой альтернативный доступ к целевому сосуду проксимальнее зоны поражений). Фиксация

динамики ПАД и САД осуществлялась через 30 секунд после введения препарата. Снижение инвазивного ЛПИ (иЛПИ) до 0,8 и ниже оценивалось как признак гемодинамической значимости поражений сегментов выше зоны периферического доступа.

Реконструктивные эндоваскулярные вмешательства выполнены по стандартной методике, необходимость имплантации стента при поражении бедренно-подколенного и берцового сегментов оценивалась после ангиографического контроля эффективности баллонной ангиопластики либо по данным функциональной оценки в группах с инвазивным гемодинамическим контролем, при поражениях подвздошного сегмента выполнялось первичное стентирование. При гибридном подходе эндоваскулярный и хирургический этапы выполнялись поочередно, последовательность этапов планировалась исходя из особенностей хирургического и эндоваскулярного доступов и характеристики поражений. Контроль эффективности процедуры у всех пациентов проводился на вторые сутки после оперативного лечения на основании клинических данных и определения ЛПИ.

Статистика

Результаты исследования представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me (Q1; Q3)). Распределение качественных признаков представлено в виде относительных и абсолютных частот. Для сравнения несвязанных групп применялись таблицы сопряженности Chi-square, критерий Красела-Уоллиса (при сравнении трех групп) и двусторонний точный

критерий Фишера и U-критерий Манна-Уитни; для сравнения в связанных группах статистическая обработка выполнялась с использованием критерия Вилкоксона. Для оценки корреляции между измеряемыми параметрами в изучаемых группах был использован критерий Спирмена. Уровень статистической значимости p устанавливался при $p < 0,05$. Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью модулей статистических дополнений для Microsoft Excel, Google Spreadsheet, Python 3 (SciPy), Statkingdom, Socstatistics.

Результаты

Результаты лечения пациентов групп исследования представлены в таблице 2.

Перед выполнением оперативных вмешательств количество пораженных сегментов в сравниваемых группах статистически не различалось ($p=0,996$). Для оценки объема коррекции нами был введен коэффициент реваскуляризации, который рассчитывается как отношение числа корректированных сегментов к числу пораженных. Его значения в группах статистически значимо различались ($p < 0,0001$): в группе без гемодинамического контроля его значение составило 1 (0,67; 1), и, соответственно, 0,5 (0,5; 0,66) и 0,5 (0,5; 0,575) – в группах с гемодинамическим контролем и определением пФРК (рис. 1).

В тактике реваскуляризации – выполнении баллонной ангиопластики, стентирования либо гибридного подхода – в первой и второй группах не выявлено статистически достоверных различий ($p=0,17$, $p=0,385$, $p=1$ соответственно). В третьей группе достоверно

Таблица 2

Лечебная тактика и результаты лечения

	Группа 1 (без гемодинамического контроля) (n=60)	Группа 2 (с гемодинамическим контролем) (n=40)	Группа 3 (с определением пФРК) (n=14)
Общее количество пораженных сегментов	129	86	30
Общее количество реваскуляризованных сегментов	109	48	18
Коэффициент реваскуляризации (Me (Q1; Q3))	1 (0,67; 1)	0,5 (0,5; 0,66)	0,5 (0,5; 0,575)
Баллонная ангиопластика, %	47 (78,3)	26 (65)	7 (50)
Стентирование, %	43 (71,7)	25 (62,5)	9 (64,3)
Гибридные вмешательства, %	9 (15)	6 (15)	3 (21,4)
Длина сегментов, подвергнутых ангиопластике, мм (Me (Q1; Q3))	170 (120; 200)	100 (80; 120)	130 (115; 155)
Длина имплантированных стентов (Me (Q1; Q3))	100 (60; 145)	60 (40; 100)	40 (30; 40)
ЛПИ после вмешательства (Me (Q1; Q3))	0,8 (0,75; 0,8)	0,9 (0,8; 1)	0,9 (0,9; 1)
ЛПИ после вмешательства (Me (Q1; Q3))	—	0,9 (0,825; 0,95)	0,95 (0,95; 0,96)
пФРК после вмешательства	—	—	0,82 (0,80; 0,83)

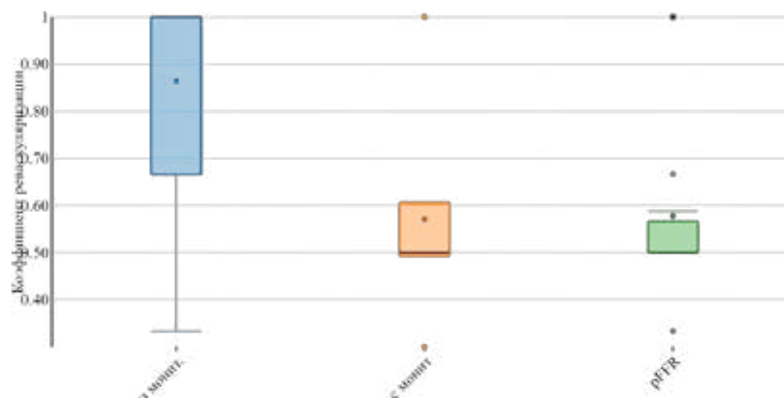


Рис. 1. Значение коэффициента реваскуляризации в группах.

реже использовалась баллонная ангиопластика ($p=0,0456$) по сравнению с первой группой, что обусловлено изначальной разницей между группами в отношении пациентов с КИНК. Во всех группах выполненное лечение привело к статистически значимым ($p<0,05$) изменениям ЛПИ в сравнении с исходными значениями (рис. 2), что свидетельствует о результативности вмешательств. Значения ЛПИ после оперативного вмешательства в исследуемых группах составили 0,8 (0,75; 0,8), 0,9 (0,8; 1) и 0,9 (0,9; 1)

соответственно, что сопряжено с удовлетворительным клиническим результатом лечения и прогнозом заболевания (рис. 3).

Результаты ЛПИ, полученные при традиционном неинвазивном измерении, коррелировали с данными инвазивного гемодинамического контроля во второй группе как исходно ($R=0,66$), так и после вмешательства ($R=0,45$).

Указанные результаты вмешательств были достигнуты при наличии статистически достоверной разницы в длине сегментов, подвергну-

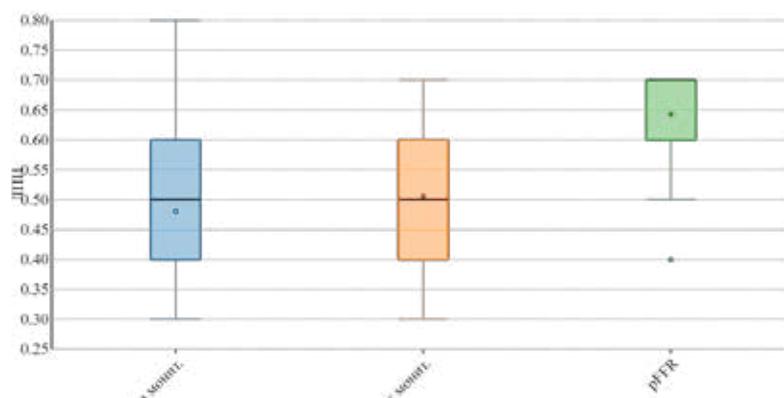


Рис. 2. Исходные значения ЛПИ у пациентов групп исследования.

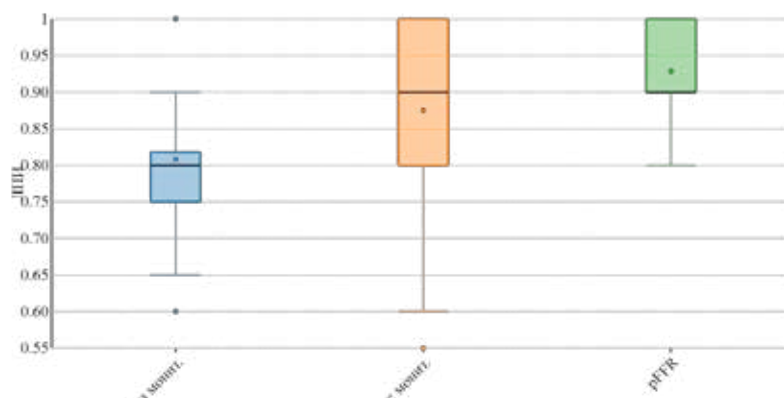


Рис. 3. Значения ЛПИ после операции у пациентов групп исследования.

тых ангиопластике в группах (мм) – 170 (120; 200), 100 (80; 120) и 130 (115; 155), $p=0,00007$ (рис. 4), и длине стентированных сегментов (мм): 100 (60; 145), 60 (40; 100), 40 (30; 40), $p=0,00063$ (рис. 5).

Обсуждение

Традиционный подход к реваскуляризации многоуровневых поражений артерий нижних конечностей на основании анатомических методов оценки объема коррекции позволил эффективно достигать увеличения ЛПИ ($p<0,00001$), при этом коэффициент реваскуляризации при данной стратегии составил 1 (0,67; 1), что свидетельствует о значительном преобладании полной анатомической реваскуляризации. Длина сегментов, подвергнутых ангиопластике, в данной группе составила 170 (120; 200) мм, стентированных сегментов – 100 (60; 145), т.е. результат операции достигался посредством ангиопластики на большом протяжении, а также посредством имплантации длинных либо множественных стентов.

Применение инвазивного интраоперационного контроля состояния периферической циркуляции позволило скорректировать объ-

ем выполненных процедур реваскуляризации на основании полученных данных о значении периферического САД и оценить эффективность этапов операции в реальном времени. Значение коэффициента реваскуляризации в данной группе было ниже (0,5 (0,5; 0,66), $p<0,0001$), чем в группе, где реваскуляризация проводилась по анатомическим критериям. Результатом вмешательства в данной группе стало достоверное увеличение значения ЛПИ ($p<0,00001$) при меньшей протяженности сегментов, подвергнутых ангиопластике и стентированию: 100 (80; 120) мм и 60 (40; 100) мм соответственно. Разница в протяженности указанных сегментов являлась статистически достоверной ($p=0,00007$ и $p=0,00063$). Результаты неинвазивных и инвазивных измерений ЛПИ коррелировали как исходно ($R=0,66$), так и после вмешательства ($R=0,45$), что свидетельствует о надежности данного инвазивного критерия, сопоставимой с клиническим значением ЛПИ, имеющего достаточную доказательную базу.

Определение пФРК у пациентов с перемежающейся хромотой (ПХ) также позволило скорректировать объем вмешательства с достижением коэффициента реваскуляризации 0,5 (0,5; 0,575), $p<0,0001$, и меньшей протяженно-

Рис. 4. Значения длины сегментов, подвергнутых ангиопластике в группах.

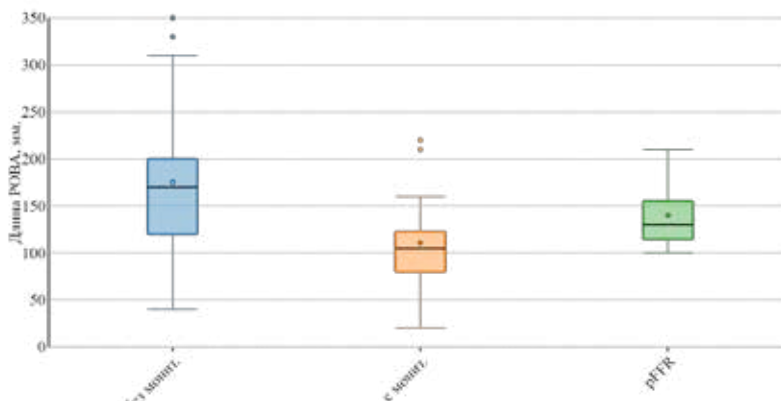
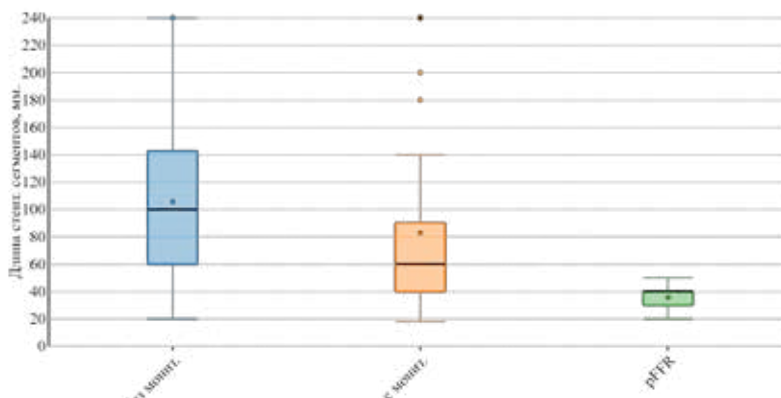


Рис. 5. Значения длины сегментов, подвергнутых ангиопластике в группах.



стью сегментов ангиопластики и стентирования (130 (115; 155) мм, $p = 0,00007$ и 40 (30; 40) мм, $p=0,00063$), что достоверно ниже, чем в группе, где вмешательства осуществлялись по стандартной методике. Результатом вмешательств с контролем пФРК также стал значимый рост ЛПИ ($p=0,00096$) при исходно более сложной неинвазивной и инвазивной оценке степени ишемии конечностей. Поскольку в данную группу были включены только пациенты с ПХ и относительно высокими значениями ЛПИ покоя – 0,7 (0,6; 0,7), выполнение теста с гиперемией позволило установить реальную значимость стеноза и выявить оптимальный объем коррекции.

Выводы

1. Традиционный подход к реваскуляризации многоуровневых поражений артерий нижних конечностей на основании анатомических методов оценки объема коррекции позволил эффективно достичь увеличения ЛПИ, при этом в тактике преобладала полная анатомическая реваскуляризация, т.е. результат операции достигался посредством ангиопластики на большом протяжении, а также имплантации длинных либо множественных стентов.

2. Определение пФРК у пациентов с ПХ позволило скорректировать объем вмешательства с достижением меньшего коэффициента реваскуляризации и меньшей протяженностью сегментов ангиопластики и стентирования, чем в группе, где вмешательства осуществлялись по стандартной методике. Результатом вмешательств также стал значимый рост ЛПИ при исходно более сложной неинвазивной и инвазивной оценке степени ишемии конечностей. Поскольку в данную группу были включены только пациенты с ПХ и относительно высокими значениями ЛПИ покоя, выполнение теста с гиперемией позволило установить реальную значимость стеноза и выявить оптимальный объем коррекции.

3. Метод инвазивного интраоперационного контроля состояния периферической циркуляции позволил скорректировать объем выполненных процедур реваскуляризации на основании полученных данных о значении периферического САД и оценить эффективность этапов операции в реальном времени. Значение коэффициента реваскуляризации в данной группе было статистически значимо ниже, чем в группе, где реваскуляризация проводилась по анатомическим критериям. Результатом вмешательства в данной группе стало достоверное увеличение значения ЛПИ

при меньшей протяженности сегментов, подвергнутых ангиопластике и стентированию. Результаты неинвазивных и инвазивных измерений ЛПИ коррелировали как исходно, так и после вмешательства, что свидетельствует о надежности данного инвазивного критерия, сопоставимой с клиническим значением ЛПИ, имеющего достаточную доказательную базу.

Финансирование

Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований Гомельского государственного медицинского университета и в рамках финансируемой из средств Гомельского областного исполнительного комитета темы НИР «Разработать метод местного лечения трофических язв сосудистой этиологии с использованием биodeградируемых материалов» госрегистрации № 20192872 от 30.10.2019.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

Этические аспекты.

Одобрение комитета по этике

Исследование одобрено этическим комитетом Гомельского государственного медицинского университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gould KL, Johnson NP, Bateman TM, Beanlands RS, Bengel FM, Bober R, Camici PG, Cerqueira MD, Chow BJW, Di Carli MF, Dorbala S, Gewirtz H, Gropler RJ, Kaufmann PA, Knaapen P, Knuuti J, Merhige ME, Rentrop KP, Ruddy TD, Schelbert HR, Schindler TH, Schwaiger M, Sdringola S, Vitarello J, Williams KA Sr, Gordon D, Dilsizian V, Narula J. Anatomic versus physiologic assessment of coronary artery disease. Role of coronary flow reserve, fractional flow reserve, and positron emission tomography imaging in revascularization decision-making. *J Am Coll Cardiol*. 2013 Oct 29;62(18):1639-53. doi: 10.1016/j.jacc.2013.07.076
2. Lotfi A, Jeremias A, Fearon WF, Feldman MD, Mehran R, Messenger JC, Grines CL, Dean LS, Kern MJ, Klein LW; Society of Cardiovascular Angiography and Interventions. Expert consensus statement on the use of fractional flow reserve, intravascular ultrasound, and optical coherence tomography: a consensus statement of the Society of Cardiovascular Angiography and Interventions. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2014 Mar 1;83(4):509-18. doi: 10.1002/ccd.25222
3. van de Hoef TP, Meuwissen M, Escaned J, Davies JE, Siebes M, Spaan JA, Piek JJ. Fractional flow reserve as a surrogate for inducible myocardial ischaemia. *Nat Rev Cardiol*. 2013 Aug;10(8):439-52. doi: 10.1038/nrcardio.2013.86

4. Xaplanteris P, Fournier S, Pijls NHJ, Fearon WF, Barbato E, Tonino PAL, Engström T, Kåab S, Dambrink JH, Rioufol G, Toth GG, Piroth Z, Witt N, Fröbert O, Kala P, Linke A, Jagic N, Mates M, Mavromatis K, Samady H, Irimpen A, Oldroyd K, Campo G, Rothenbühler M, Jüni P, De Bruyne B; FAME 2 Investigators. Five-year outcomes with pci guided by fractional flow reserve. *N Engl J Med*. 2018 Jul 19;379(3):250-59. doi: 10.1056/NEJMoa1803538
5. Pijls NH, Klauss V, Siebert U, Powers E, Takazawa K, Fearon WF, Escaned J, Tsurumi Y, Akasaka T, Samady H, De Bruyne B. Fractional Flow Reserve (FFR) Post-Stent Registry Investigators. Coronary pressure measurement after stenting predicts adverse events at follow-up: a multicenter registry. *Circulation*. 2002 Jun 25;105(25):2950-54. doi: 10.1161/01.cir.0000020547.92091.76
6. Murata N, Aihara H, Soga Y, Tomoi Y, Hiramori S, Kobayashi Y, Ichihashi K, Tanaka N. Validation of pressure gradient and peripheral fractional flow reserve measured by a pressure wire for diagnosis of iliofemoral artery disease with intermediate stenosis. *Med Devices (Auckl)*. 2015;8:467-72. Published online 2015 Nov 9. doi: 10.2147/MDER.S83768
7. Banerjee S, Badhey N, Lichtenwalter C, Varghese C, Brilakis ES. Relationship of walking impairment and ankle-brachial index assessments with peripheral arterial translesional pressure gradients. *J Invasive Cardiol*. 2011 Sep;23(9):352-56. <https://www.invasivecardiology.com/content/volume-23-issue-9-september-2011?page=1>
8. Ruzsa Z, Ryna S, Tyth GG, Sytonyi P, Bertrand OF, Nemes B, Merkely B, Hüttl K. Fractional flow reserve in below the knee arteries with critical limb ischemia and validation against gold-standard morphologic, functional measures and long term clinical outcomes. *Cardiovasc Revasc Med*. 2018 Mar;19(2):175-81. doi: 10.1016/j.carrev.2017.07.007
9. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG. Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II). *J Vasc Surg*. 2007 Jan;45(Suppl S):S5-67. doi: 10.1016/j.jvs.2006.12.037
10. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, Björck M, Brodmann M, Cohnert T, Collet JP, Czerny M, De Carlo M, Debus S, Espinola-Klein C, Kahan T, Kownator S, Mazzolai L, Naylor AR, Roffi M, Röther J, Sprynger M, Tenders M, Tepe G, Venermo M, Vlachopoulos C, Desormais I; ESC Scientific Document Group. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European society for vascular surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) the task force for the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J*. 2018 Mar 1;39(9):763-16. doi: 10.1093/eurheartj/ehx095
11. Maeda A, Tashiro K, Sasai M, Mori H, Sato T, Hayashi M, Suzuki H. Safety and efficacy of Adenosine 5'-Triphosphate as a hyperemic agent for the assessment of peripheral fractional flow reserve. *Showa Univ J Med Sci*. 2018;30(2):151-58. doi: 10.15369/su-jms.30.151

REFERENCES

1. Gould KL, Johnson NP, Bateman TM, Beanlands RS, Bengel FM, Bober R, Camici PG, Cerqueira MD, Chow BJW, Di Carli MF, Dorbala S, Gewirtz H, Gropler RJ, Kaufmann PA, Knaapen P, Knuuti J, Merhige ME, Rentrop KP, Ruddy TD, Schelbert HR, Schindler TH, Schwaiger M, Sdringola S, Vitarello J, Williams KA Sr, Gordon D, Dilsizian V, Narula J. Anatomic versus physiologic assessment of coronary artery disease. Role of coronary flow reserve, fractional flow reserve, and positron emission tomography imaging in revascularization decision-making. *J Am Coll Cardiol*. 2013 Oct 29;62(18):1639-53. doi: 10.1016/j.jacc.2013.07.076
2. Lotfi A, Jeremias A, Fearon WF, Feldman MD, Mehran R, Messenger JC, Grines CL, Dean LS, Kern MJ, Klein LW; Society of Cardiovascular Angiography and Interventions. Expert consensus statement on the use of fractional flow reserve, intravascular ultrasound, and optical coherence tomography: a consensus statement of the Society of Cardiovascular Angiography and Interventions. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2014 Mar 1;83(4):509-18. doi: 10.1002/ccd.25222
3. van de Hoef TP, Meuwissen M, Escaned J, Davies JE, Siebes M, Spaan JA, Piek JJ. Fractional flow reserve as a surrogate for inducible myocardial ischemia. *Nat Rev Cardiol*. 2013 Aug;10(8):439-52. doi: 10.1038/nrcardio.2013.86
4. Xaplanteris P, Fournier S, Pijls NHJ, Fearon WF, Barbato E, Tonino PAL, Engström T, Kåab S, Dambrink JH, Rioufol G, Toth GG, Piroth Z, Witt N, Fröbert O, Kala P, Linke A, Jagic N, Mates M, Mavromatis K, Samady H, Irimpen A, Oldroyd K, Campo G, Rothenbühler M, Jüni P, De Bruyne B; FAME 2 Investigators. Five-year outcomes with pci guided by fractional flow reserve. *N Engl J Med*. 2018 Jul 19;379(3):250-59. doi: 10.1056/NEJMoa1803538
5. Pijls NH, Klauss V, Siebert U, Powers E, Takazawa K, Fearon WF, Escaned J, Tsurumi Y, Akasaka T, Samady H, De Bruyne B. Fractional Flow Reserve (FFR) Post-Stent Registry Investigators. Coronary pressure measurement after stenting predicts adverse events at follow-up: a multicenter registry. *Circulation*. 2002 Jun 25;105(25):2950-54. doi: 10.1161/01.cir.0000020547.92091.76
6. Murata N, Aihara H, Soga Y, Tomoi Y, Hiramori S, Kobayashi Y, Ichihashi K, Tanaka N. Validation of pressure gradient and peripheral fractional flow reserve measured by a pressure wire for diagnosis of iliofemoral artery disease with intermediate stenosis. *Med Devices (Auckl)*. 2015;8:467-72. Published online 2015 Nov 9. doi: 10.2147/MDER.S83768
7. Banerjee S, Badhey N, Lichtenwalter C, Varghese C, Brilakis ES. Relationship of walking impairment and ankle-brachial index assessments with peripheral arterial translesional pressure gradients. *J Invasive Cardiol*. 2011 Sep;23(9):352-56. <https://www.invasivecardiology.com/content/volume-23-issue-9-september-2011?page=1>
8. Ruzsa Z, Ryna S, Tyth GG, Sytonyi P, Bertrand OF, Nemes B, Merkely B, Hüttl K. Fractional flow reserve in below the knee arteries with critical limb ischemia and validation against gold-standard morphologic, functional measures and long term clinical outcomes. *Cardiovasc Revasc Med*. 2018 Mar;19(2):175-81. doi: 10.1016/j.carrev.2017.07.007
9. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR,

Harris KA, Fowkes FG. Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II). *J Vasc Surg.* 2007 Jan;45(Suppl S):S5-67. doi: 10.1016/j.jvs.2006.12.037

10. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, Björck M, Brodmann M, Cohnert T, Collet JP, Czerny M, De Carlo M, Debus S, Espinola-Klein C, Kahan T, Kownator S, Mazzolai L, Naylor AR, Roffi M, Röther J, Sprynger M, Tendera M, Tepe G, Venermo M, Vlachopoulos C, Desormais I; ESC Scientific Document Group. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of

extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries. Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) the taskforce for the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J.* 2018 Mar 1;39(9):763-16. doi: 10.1093/eurheartj/ehx095

11. Maeda A, Tashiro K, Sasai M, Mori H, Sato T, Hayashi M, Suzuki H. Safety and efficacy of Adenosine 5'-Triphosphate as a hyperemic agent for the assessment of peripheral fractional flow reserve. *Showa Univ J Med Sci.* 2018;30(2):151-58. doi: 10.15369/su-jms.30.151

Адрес для корреспонденции

246046, Республика Беларусь,
г. Гомель, ул. Медицинская, д. 4,
Гомельский государственный
медицинский университет,
кафедра хирургических болезней № 1,
тел.: +375 232 49-19-54,
e-mail: surgery_1@gsmu.by,
Гороховский Сергей Юрьевич

Address for correspondence

246046, Republic of Belarus,
Gomel, Meditsinskaya str., 4,
Gomel State Medical University,
Department of Surgical Diseases No1,
Tel./fax: +375 232 49-19-54
e-mail: surgery_1@gsmu.by
Gorokhovskiy Sergey Yu.

Сведения об авторах

Лычиков Алексей Анатольевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>

Гороховский Сергей Юрьевич, врач-рентген-эндоваскулярный хирург, заведующий рентгено-операционной, Гомельский областной клинический кардиологический центр, г. Гомель, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0002-0596-1391>

Каплан Марк Львович, к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0001-7782-3281>

Тихманович Виктор Евгеньевич, ассистент кафедры хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0002-3486-9113>

Information about the authors

Lyzikov Alexey A., MD, Professor, Head of the Department of Surgical Diseases No1 with the Course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>

Gorokhovskiy Sergey Yu., Roentgen-Endovascular Surgeon, Head of the Interventional Radiology Ward, Gomel Regional Clinical Cardiology Center, Gomel, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0002-0596-1391>

Kaplan Mark L., PhD, Associate Professor of the Department of Surgical Diseases No1 with the Course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0001-7782-3281>

Tihmanovich Victor E., Assistant Lecturer of the Department of Surgical Diseases No1 with the Course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0002-3486-9113>

Информация о статье

Поступила 8 апреля 2020 г.

Принята в печать 28 сентября 2020 г.

Доступна на сайте 1 ноября 2020 г.

Article history

Arrived: 8 April 2020

Accepted for publication: 28 September 2020

Available online: 1 November 2020